

Medición de la innovación en Colombia

Measurement of innovation in Colombia

Recibido: 22-11-2015 • Aprobado: 09-09-2016 • Página inicial: 165 - Página final: 183

Luis Miguel Jiménez Gómez*

Natalia María Acevedo Prins**

Miguel David Rojas López***

Resumen: este artículo de investigación presenta la construcción de un índice para medir la innovación en Colombia. Los modelos actuales de medición de innovación presentan falencias en su construcción: recolección de datos por encuestas, subjetividades, agregación y ponderación de variables. Para ello se implementó la herramienta estadística de análisis factorial para obtener una construcción del índice, evitando la inserción de errores por la ponderación y agregación de variables. El índice construido muestra la proximidad a la realidad, debido a que los resultados muestran fortalezas y debilidades asociadas a la innovación en Colombia; dando cuenta de la falencia en aspectos como la explotación y acceso del conocimiento.

Palabras clave: índice de innovación, Sistema Nacional de Innovación, análisis factorial.

Abstract: This research presents the development of an index to measure innovation in Colombia. The current models of measurement of innovation have shortcomings in its construction: data collection for surveys, subjectivities, aggregation, and weighting of variables. To this end, implement the statistical tool of factor analysis in this study to obtain an objective index construction, avoiding the insertion of errors by the weighting aggregation of variables. The index built displays the proximity to the reality, because the results show strengths and weaknesses associated with innovation in Colombia; giving account of the failure in aspects such as access and exploitation of knowledge.

Keywords: Index of innovation, National Innovation System, factor analysis.

JEL: O31, O49

* Ingeniero Industrial, Especialista en Ingeniería Financiera y MSc. en Ingeniería – Ingeniería Administrativa. Docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM, Medellín – Colombia.

luisjimenez@itm.edu.co, enlace ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8914-8217>

** Ingeniera Administradora, Especialista en Ingeniería Financiera y MSc. en Ingeniería – Ingeniería Industrial. Docente de cátedra del Instituto Tecnológico Metropolitano – ITM, Medellín – Colombia.

nataliaaprins@gmail.com, enlace ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6993-7067>

*** Ph.D. en Ingeniería, profesor asociado e integrante del Grupo de Investigación CINCO de la Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería de la Organización de la Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
mdrojas@unal.edu.co, enlace ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3531-4910>

Mesure de l'innovation en Colombie

Résumé: cette enquête présente la construction d'un indice pour mesurer l'innovation en Colombie. Les modèles actuels de mesure de l'innovation présentent des lacunes dans sa construction: collecte de données par des sondages, subjectivités, agrégation et la pondération de variables. Pour cela, il a mis en oeuvre l'outil statistique de l'analyse factorielle dans cette étude pour obtenir une construction de l'index objective, en évitant l'insertion des erreurs par la pondération agrégation de variables. L'index construit montre la proximité à la réalité, parce que les résultats obtenus montrent des points forts et des faiblesses associées à l'innovation en Colombie; en rendant compte de la lacune dans des domaines comme l'exploitation et l'accès de la connaissance.

Mots-clés: index de l'innovation, Système National d'Innovation, l'analyse factorielle.

Medição da inovação na Colômbia

Resumo: esta pesquisa apresenta o desenvolvimento de um índice para medir a inovação na Colômbia. Os modelos atuais de medição de inovação têm deficiências na sua construção: a coleta de dados para pesquisas, subjetividades, agregação e ponderação das variáveis. Para este fim, implementar a ferramenta estatística de análise fatorial neste estudo para obter um índice objetivo construção, evitando a inserção de erros pela agregação de ponderação de variáveis. O índice construído apresenta a proximidade com a realidade, porque os resultados mostram os pontos fortes e fracos associados com a inovação na Colômbia; dando conta da falha em aspectos como o acesso e exploração de conhecimentos.

Palavras-chave: índice de innovación, Sistema Nacional de Innovación, análisis factorial.

Introducción

La innovación es un factor importante del crecimiento económico sostenido, puesto que la producción y transformación del conocimiento fomentan la riqueza económica, el bienestar social y el desarrollo humano (Manrique, Robledo, y Lema, 2014). De esta forma, los índices de innovación miden, monitorean y promueven el progreso de los resultados de la innovación.

Por su parte, el concepto de Sistema Nacional de Innovación (SNI) se refiere a los agentes que componen los sistemas de innovación y la relación de interacción con el propósito de acceder, absorber, difundir, crear y explotar el conocimiento. Por esta razón la medición del SNI es importante para la toma de decisiones en las políticas públicas, porque se determina las fortalezas y debilidades de los programas de los gobiernos en la promoción de la innovación (Lundvall, 2010; Muchie y Baskaran, OCDE, 1997).

En consecuencia, actualmente existen varios índices que se toman de referencia por parte de los gobiernos para determinar la efectividad de las políticas públicas. Los índices más importantes son: Índice Global de Innovación, Índice de Tecnología del Foro Económico Mundial, Industrial Development Scoreboard de la Organización para el Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas, el índice EIS (European Innovation Scoreboard) de la Comisión Europea, el Índice del Éxito Tecnológico del Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas (UN Development Program – UNDP), Índice de Ciencia y Capacidad Tecnológica (Wagner, Brahmakulam, Jackson, Wong, y Yoda, 2001), de la Corporación RAND, por último, el Índice de Capacidades Tecnológicas (ArCo).

Se evidencia desde la literatura que los índices expuestos tienen problemas en la construcción, desde la parte teórica y desde el manejo estadístico. La principal crítica encontrada para estos índices es el método de agregación y ponderación de variables, debido a que son realizadas con criterio de expertos, lo que brinda subjetividades a la medición, y además, los índices son diseñados como primera instancia para los países desarrollados, y de esta forma las características que no cumplen los países emergentes, como ocurre con economías latinoamericanas, rezagadas afectando el rango donde se ubican estos países (Lall, 2001a, 2001b).

Esta investigación construye un índice de medición de innovación para Colombia con base en la medición de los flujos del conocimiento de las naciones presentado en los trabajos de Mahroum y Al-Saleh (2013) y de la OCDE (1997). Para evitar los problemas evidenciados por Lall (2001) sobre los índices actuales, se

procede a la revisión teórico–conceptual que proveerá las variables a ingresar en la medición, se aplicará la metodología para construcción de indicadores sintéticos de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico–OCDE, haciendo uso del análisis factorial como criterios multivariados y también como técnica para encontrar los valores de agregación y ponderación. Con los resultados obtenidos contrastar las recomendaciones en términos de políticas para la mejora de la innovación, con las deficiencias encontradas en la formulación de políticas que apunten al crecimiento económico de Colombia.

Metodología

Variables de medición de innovación

La medición de la innovación en las naciones se centra en los flujos del conocimiento a que hacen referencia los Sistemas Nacionales de Innovación. De este modo, las variables se clasificaron en cuatro categorías (Mahroum y Al-Saleh, 2013; OCDE, 1997): acceso al conocimiento, absorción y difusión del conocimiento, creación del conocimiento, y explotación del conocimiento. En la Tabla 1 se muestran las 18 variables que se utilizaron para medir la innovación en Colombia.

Tabla 1

Variables de medición de la innovación

Categoría	N°	Variable
Acceso al conocimiento	1.1	Usuarios de Internet (por cada 100 personas).
	1.2	Líneas telefónicas (por cada 100 personas).
	1.3	Abonados a teléfonos celulares (por cada 100 personas).
Absorción y difusión del conocimiento	2.1	Gasto público en educación, total (% del PIB).
	2.2	Tasa de alfabetización, total de adultos (% de personas de 15 años o más).
	2.3	Inscripción escolar, nivel terciario (% bruto).
	2.4	Población activa con educación terciaria (% del total).
	2.5	Importaciones de bienes y servicios (% del PIB).
	2.6	Importaciones de bienes de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (% del total de importaciones de bienes).
	2.7	Inversión Extranjera Directa (IED), salida neta de capital (% del PIB).

Categoría	N°	Variable
Creación del conocimiento	3.1	Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB).
	3.2	Patentes concebidas residentes y no residentes / Millón de habitantes.
	3.3	Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas).
	3.4	Artículos en publicaciones científicas y técnicas / Millón de habitantes.
Explotación del conocimiento	4.1	Exportaciones de productos de alta tecnología (% de las exportaciones de productos manufacturados).
	4.2	Exportaciones de productos de TIC (% de las exportaciones de productos).
	4.3	Exportaciones de bienes y servicios (% del PIB).
	4.4	PIB per cápita (US\$ a precios actuales).

Elaboración propia, 2015.

La consecución de datos se realizó de bases del Banco Mundial. Los datos tomados de estas fuentes fueron reportados desde el año 2000 hasta el 2012, debido a la escasez de datos por parte de las entidades. Este problema se manifestó con las variables relacionadas con las categorías de creación y explotación del conocimiento; por lo que se tomó la decisión de excluir del análisis los años 2013 y 2014; sin embargo, se utilizaron los años 2011 y 2012 para análisis y comparaciones.

Construcción del índice de innovación

El índice de innovación se construyó siguiendo los pasos propuestos por la Comisión Europea. Esta metodología se divide en tres etapas. Como se muestra en la Figura 1, en la primera etapa se desarrolla el marco teórico relacionado con la medición de la innovación. En la segunda etapa se seleccionan las variables y la consecución de los datos históricos, en el caso de poseer datos faltantes, se utiliza la imputación de datos. En la última etapa, después de tener los datos completos, se implementa el análisis factorial para la agregación y ponderación de las variables. El análisis factorial es la herramienta multivariante que evita la inserción de subjetividades.

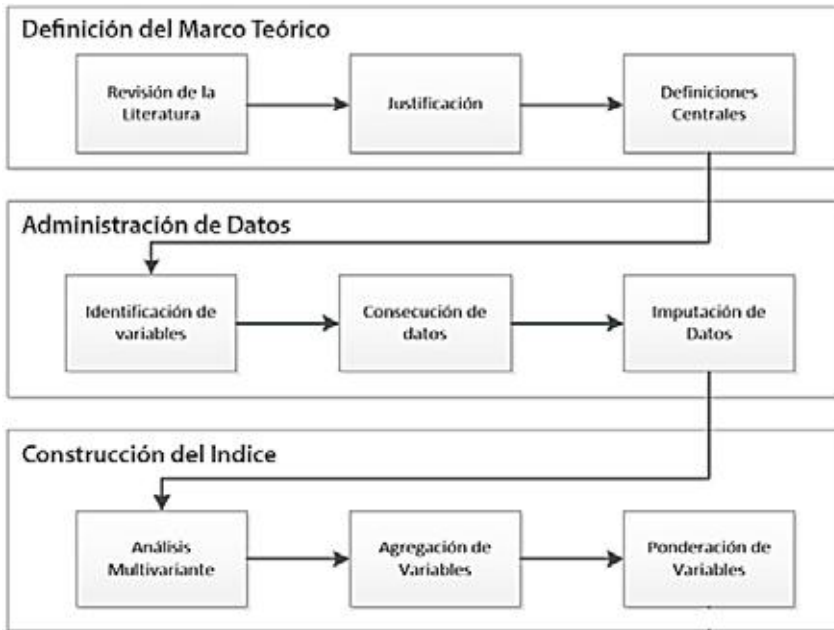


Figura 1. Etapas para la creación del índice de innovación

Elaboración propia, 2015.

Resultados

Índice de innovación

La innovación produce y transforma el conocimiento científico y tecnológico fomentando la riqueza económica, el bienestar social y el desarrollo humano en los países (Manrique *et al.*, 2014). Las políticas públicas y estrategias empresariales reconocen el cambio tecnológico y la innovación como factores fundamentales en la dinámica de la economía (Robledo, 2013). Medir la innovación por medio de índices proporciona una herramienta para medir, monitorear y promover el progreso de los resultados de la innovación. Las variables individuales no miden la innovación como un todo, pero el conjunto de variables que pertenecen a un índice miden la innovación en general (Grupp y Schubert, 2010).

Cada año algunas organizaciones publican clasificaciones de rendimiento entre países. Estas clasificaciones sirven de referencia para juzgar el éxito o fracaso de ellos en el logro del crecimiento económico y de la competitividad, representado por indicadores compuestos conocidos y aceptados (Önsel *et al.*, 2008). Sin embargo, los índices presentan algunos problemas en la construcción, como

juicios subjetivos en la agregación y ponderación de variables, obteniendo sobreestimaciones del rendimiento en algunos países; otro problema está relacionado con datos utilizados, algunos índices utilizan encuestas donde las preguntas planteadas presentan debilidades y ambigüedades (Lall, 2001b).

Por lo anterior, los índices no proporcionan guías confiables para tomar decisiones entre los directivos de organizaciones y gobernantes (Önsel *et al.*, 2008). Esto conduce a que en la construcción de índices las proporciones son complejas de justificar al igual que el verdadero rendimiento en los países. Del mismo modo, Castro, Di Serio, y De Vasconcellos (2012) argumentan que los procesos metodológicos de medición de innovación carecen de detalle y precisión. Por otra parte, son tres los esfuerzos que justifican la medición de la innovación de las naciones: Análisis teórico, fuente de información e *input* para las estrategias de las empresas (Archibugi, Denni, y Filippetti, 2009).

Análisis teórico: los indicadores de innovación se usan para incrementar y ampliar el conocimiento de los cambios tecnológicos y probar las teorías de innovación. Existe un consenso en las teorías económicas y sociales acerca del hecho que el cambio tecnológico representa el ingenio del desarrollo e incluso el progreso.

Fuente de información para las políticas públicas: los gobernantes necesitan posicionar al país para identificar las fortalezas y debilidades, para garantizar las oportunidades tecnológicas, y valorar la efectividad de las políticas adoptadas. Interpretar las estadísticas del cambio tecnológico provee una fuente fundamental de información para diseñar y realizar políticas de innovación efectivas.

Input para las estrategias de las empresas: los directivos de las organizaciones utilizan los estudios de innovación para entender sobre los avances tecnológicos. Los datos de la innovación de los diferentes países permiten comprender, dentro del contexto geográfico, que las empresas pueden desarrollar y establecer actividades de innovación.

Medición de la innovación

El Sistema Nacional de Innovación (SIN) es el concepto que abarca los procesos de innovación en el ámbito económico. Este marco conceptual tiene su origen en Freeman en 1987, Dosi en 1988 y Lundvall en 1988 y 1992, Nelson en 1993, y Equist en 1997. Para Freeman el SIN son las actividades y las interacciones que tienen las instituciones públicas y privadas para importar, modificar y difundir nueva tecnología. Lundvall concibe el SIN como los elementos y relaciones para la producción, difusión y explotación económica del conocimiento (Feinson, 2003).

De esta forma, el concepto de SIN está basado en los vínculos o relaciones entre los agentes involucrados en la innovación para mejorar el desempeño tecnológico. En otras palabras, la innovación en las naciones depende de las relaciones dinámicas de cooperación entre empresas e instituciones para la generación, difusión y aplicación del conocimiento (Luisa y Castillo, 2004).

En consecuencia, los índices de innovación tienen que captar los procesos de generación, difusión, apropiación y explotación del conocimiento. En este orden de ideas, tomando como base el concepto de Sistema Nacional de Innovación, los índices de innovación se deben centrar en los flujos de conocimiento, los cuales están en función de cuatro categorías: Acceso, absorción y difusión, creación, y explotación del conocimiento (Mahroum y Al-Saleh, 2013; OCDE, 1997).

El objetivo del índice de innovación es comparar los canales del flujo del conocimiento en el ámbito nacional, para identificar falencias y sugerir políticas para mejorar el rendimiento innovador, el cual es considerado motor del crecimiento económico y de la competitividad en los países.

Acceso al conocimiento

El acceso al conocimiento es la capacidad de una economía para conectarse con los flujos del conocimiento globales y acceder a nuevas ideas. Esta categoría se refiere a la capacidad de acceder a la red global de información, a la conexión con la red internacional del conocimiento para que las universidades, empresas y gobierno identifiquen y valoren fuentes pertinentes de conocimiento, y lo utilicen para adquirir, producir y distribuir nuevo conocimiento (Mahroum y Al-Saleh, 2013). El acceso al conocimiento se mide por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs). Las TICs crean nuevas oportunidades para el aprendizaje en los países en desarrollo mediante enlaces electrónicos accediendo al conocimiento global (UNIDO, 2002).

Absorción y difusión del conocimiento

La absorción del conocimiento es la identificación y adaptación de fuentes externas de conocimiento a la economía local. Por su parte, la difusión del conocimiento es la adaptación y asimilación de las innovaciones, nuevas prácticas y tecnología a lo largo de la economía (Mahroum y Al-Saleh, 2013). La capacidad de producir, difundir y utilizar el conocimiento se basa en las capacidades del capital humano, por lo que los recursos humanos son un factor clave en el proceso de innovación. Los recursos humanos son el conjunto de características que ayudan a las empresas a obtener ventajas competitivas en el mercado (Castro-González, Peña-Vinces, Ruiz-Torres, y Sosa, 2014; Guan, Yam, Mok, & Ma, 2006).

Evaluar y utilizar el conocimiento exterior también depende de la capacidad de absorción del conocimiento. El mejor indicador para medir la absorción del conocimiento es la Inversión Extranjera Directa – IED (Archibugi y Coco, 2004; Mahroum y Al-Saleh, 2013). La IED incrementa el capital disponible y es fuente de transferencia tecnológica para las naciones, incrementando la innovación (Lall y Pietrobelli, 2005).

Creación del conocimiento

La creación del conocimiento para un país es la capacidad para ser fuente de nuevas ideas, descubrimientos e innovaciones. La variable más importante para crear conocimiento es la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D). Esta variable mide el nivel de insumos para la innovación en las naciones (Wagner *et al.*, 2001). Es un componente central de las actividades de innovación tecnológica y es el gasto más importante de innovación (Guan *et al.*, 2006). Asimismo, la creación del conocimiento también se mide con las patentes, y las publicaciones científicas consideradas indicadores de resultado de la ciencia y de la tecnología (Wagner *et al.*, 2001).

Explotación del conocimiento

La explotación del conocimiento de un país es la capacidad de utilizar el conocimiento con fines comerciales y sociales que generen valor. Es la forma más visible de la innovación. Las organizaciones adquieren conocimiento, crean nuevas ideas y las convierten en producto (Mahroum y Al-Saleh, 2013).

Análisis factorial

El método del análisis factorial reduce un conjunto amplio de variables a un conjunto de menor dimensión de variables hipotéticas no observables llamado factores. Los factores resumen toda la información que reside en el conjunto original. Según (Buesa, Heijs, y Baumert, 2010) estas variables hipotéticas o factores reflejan mejor los aspectos generales de los sistemas de innovación que lo que podría ser cada una de las variables individuales.

Esta técnica se encarga de analizar la varianza común a todas las variables tomando como referencia la matriz de correlaciones, calculando la porción de varianza compartida determinada por el coeficiente de determinación, y simplifica la información existente, esta información es condensada en los llamados factores (De la Fuente, 2011).

Los factores son variables ficticias, donde se recoge la información de la combinación lineal de las variables. Si se comprueba la existencia de n factores

se interpreta que el objeto de estudio puede descomponerse en n factores que reúne una cantidad determinada de variables. El modelo de análisis factorial puede definirse matemáticamente como lo muestra la Ecuación 1, donde se evidencia la reducción de factores.

$$X = AF + U \text{ Ecuación 1}$$

Donde es la matriz de cargas o saturaciones de la varianza, matriz de las puntuaciones factoriales y la matriz de datos, en este caso la varianza de cada una de las variables es explicada por los factores comunes (comunalidad) y la varianza específica de cada una de ellas (especificidad), de las comunalidades nace la matriz que determina el número de factores.

Con este método es necesario analizar la conveniencia de la aplicación del análisis factorial, debido a que pueden encontrarse entre las variables del modelo correlaciones muy bajas y donde definitivamente no sería recomendable utilizar el análisis factorial. Para el análisis de las correlaciones existen varios indicadores que permiten su evaluación; sin embargo, solo se destacan dos por su efectividad: Test de Esfericidad de Barlett y la prueba de adecuación muestral de Kaiser – Meyer – Olkin (KMO) (De la Fuente, 2011).

El Test de esfericidad de Barlett contrasta la hipótesis de la normalidad multivariante, es decir que la matriz de las correlaciones de las variables del modelo es la matriz identidad. En este caso se contrasta la siguiente hipótesis:

$$H_0: [corr] = 1$$

$$H_1: [corr] \neq 1$$

Si H_0 es aceptada se puede afirmar que las variables no se encuentran fuertemente correlacionadas, por lo que no sería conveniente aplicar el método de análisis factorial; por el contrario si el estadístico del test toma valores grandes la interpretación será la existencia de un grupo de variables altamente correlacionadas que podrían ser agrupadas (De la Fuente, 2011).

El test Kaiser – Meyer – Olkin (KMO) también es llamado medida de adecuación muestral. Este indicador mide el grado de correlación existente entre dos variables, compara las magnitudes de los coeficientes de correlación parcial, entre menor sea su valor, mayor es el número de coeficientes de correlación parcial, y por tanto, menos apropiado el uso del análisis factorial. El cálculo de la media de adecuación muestral está dado por la Ecuación 2 (De la Fuente, 2011).

$$KMO = \frac{\sum_{j \neq i} \sum_{l \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{j \neq i} \sum_{l \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{j \neq i} \sum_{l \neq j} r_{ij(p)}^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde r_{ij}^2 son los coeficientes de correlación parciales entre las variables, eliminando la influencia de las demás variables. Para que el criterio de la adecuación muestral sea aceptado se propone que:

$$\begin{aligned} KMO &\geq 0.75 \rightarrow \text{Bien} \\ 0.5 &\geq KMO \geq 0.75 \rightarrow \text{Aceptable} \\ KMO &\leq 0.5 \rightarrow \text{Inaceptable} \end{aligned}$$

Por otra parte, en la extracción de los factores existen diferentes métodos para la obtención de los factores comunes: método de las componentes principales, método de los ejes principales y el método de máxima verosimilitud (De la Fuente, 2011).

- **Método de los componentes principales:** consiste en estimar las puntuaciones factoriales mediante las puntuaciones tipificadas de los primeros componentes y la matriz de saturaciones de la varianza. Este método siempre otorga una solución.
- **Método de los ejes principales:** tiene la ventaja de estar basado en el modelo de análisis factorial porque suele dar buenas estimaciones, sin embargo no garantiza que el proceso converja en una solución.
- **Método de máxima verosimilitud:** este puede ser un método usado para validación ya que permite seleccionar un número de factores mediante las pruebas de hipótesis. El principal inconveniente del método es que al realizarse la función de verosimilitud por medios iterativos ya las variables no son normales y sus respuestas pueden ser infinitas.

En la rotación de los factores la matriz de saturaciones factoriales tiene un rol importante para el significado de los factores. En este caso cada factor tendrá correlación alta con un grupo de variables y baja con las demás. Los métodos utilizados para la rotación *ortogonal* de factores son: Varimax, Quartimax, Equamax, entre otros. Estos son capaces de determinar los factores ortogonales que brindan la información de las saturaciones de cada variable (Buesa *et al.*, 2010).

- **Método Varimax:** es el método que minimiza el número de variables con cargas altas de un factor y mejorando su interpretación. Este método arroja nuevos ejes con las cargas factoriales cercanas a 1 y así el método maximiza la suma de las varianzas utilizando una cantidad menor de variables.
- **Método Quartimax:** el principal objetivo es que un reducido número de factores este estrechamente relacionado con un conjunto de variables, la interpretación de este método mejora cuando la comunidad de las variables es constante, este método tiende a producir un factor principal con la mayor ponderación y otros con menores ponderaciones comparados con el método Varimax.
- **Método Equamax:** este método opera igual a los anteriores pero en este caso se minimiza la media de las varianzas.

Por medio de la matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones en las componentes se obtienen los coeficientes que indican el porcentaje de la varianza que recoge cada variable sobre el factor y que posteriormente serán utilizados para el cálculo del índice; las variables se incluirán en un único factor, dependiendo de su mayor grado de saturación en él. Por su parte, los factores determinarán los indicadores parciales, cuya ponderación en el indicador final será determinada por el grado de la varianza que cada uno de ellos recoge en el modelo.

Finalmente, el peso relativo de los factores, así como de las variables que los componen se calcula a partir de los resultados del análisis factorial. Las ponderaciones de los indicadores parciales (factores) vendrán dadas por la variabilidad total que el factor recoge en el modelo respecto a la variabilidad total (matriz de coeficientes para el cálculo de las puntuaciones en los componentes). En la Tabla 2 se muestran las fortalezas y debilidades del método análisis factorial.

Tabla 2
Fortalezas y debilidades del análisis factorial

Fortalezas	Debilidades
Puede resumir un conjunto de indicadores individuales, preservando la máxima proporción posible de la variación total en el conjunto de datos original.	Las correlaciones a veces no son representativas en la influencia real de los indicadores individuales sobre el fenómeno que se está midiendo.
Las cargas de mayor factor se asignan a los indicadores individuales que tienen la mayor variación entre los países, una propiedad para las comparaciones entre países, ya que los indicadores individuales que son similares en todos los países son de poco interés y no pueden, posiblemente, explicar las diferencias en el rendimiento.	Sensible a las modificaciones en los datos básicos: las revisiones de datos y actualizaciones, por ejemplo, nuevos países.
	Sensible a los problemas con muestras pequeñas, que son particularmente relevantes cuando la atención se centra en un conjunto limitado de países.

European Commission, n.d.

Discusión de resultados

Al momento de realizar el análisis factorial los resultados arrojaron que el índice es construido con la ponderación de cuatro factores que explican alrededor del 91,769% de la varianza total. Con base en la tabla de varianza explicada se tomaron las proporciones relativas de cada uno de los factores con los que se construirá el índice.

En el análisis factorial el método de rotación utilizado fue el *Varimax* que arroja una serie de factores ortogonales que explican la variabilidad del modelo, con base en este se determinó el número y medida en que afectan las variables a la construcción del índice. Se obtuvo la matriz de componentes rotados con la que se eligieron las variables que componen cada uno de los factores. Los componentes en las que se agruparon las variables son análogos a las cuatro categorías que se proponen, como se observa en la matriz de componentes rotados representada por la Tabla 3.

Tabla 3
Matriz de componentes rotados

	Componente			
	1	2	3	4
Usuarios de Internet	0,972	0,184	0,009	0,116
Líneas telefónicas	-0,969	0,078	-0,013	0,052
Abonados a teléfonos celulares	0,791	0,555	-0,086	0,002
Gasto público en educación	0,598	-0,281	-0,646	0,277
Tasa de alfabetización	0,628	0,018	-0,333	0,336
Inscripción escolar, nivel terciario	0,842	-0,334	0,143	0,373
Población activa con educación terciaria	0,303	0,235	0,147	0,886
Importaciones de bienes y servicios	-0,133	0,172	0,941	0,115
Importaciones de (TIC)	-0,748	0,072	0,103	-0,539
Inversión Extranjera Directa	0,046	0,444	0,18	-0,844
Gasto en I + D	0,738	0,507	-0,246	0,306
Patentes concebidas residentes y no residentes	0,867	0,216	0,352	-0,072
Investigadores dedicados a I + D	0,234	0,852	0,374	-0,158
Artículos en publicaciones científicas y técnicas	0,727	0,49	-0,278	0,24
Exportaciones de productos de alta tecnología	-0,03	-0,958	-0,206	0,046
Exportaciones de productos de TIC	-0,755	-0,425	-0,118	-0,226
Exportaciones de bienes y servicios	0,455	0,135	0,819	-0,079
PIB per cápita	0,945	0,294	0,052	0,063

Elaboración propia, 2015.

Una vez constituidos los datos en sus respectivos factores, los pesos para la agregación y ponderación de cada una de las variables está dado por los pesos relativos correspondientes a los aportes de variabilidad de cada uno de ellos (de las variables a los factores y de los factores al índice). De esta forma, el índice de innovación para Colombia para los años 2011 y 2012 medido por las cuatro categorías, se muestra en la Tabla 4 y en la Figura 2. Los resultados muestran que los esfuerzos en innovación se representaron en la absorción y difusión del conocimiento, pero disminuyeron para el año 2012; por el contrario, la innovación tiene falencias en el acceso al conocimiento.

Tabla 4
Medición de la innovación para Colombia

Categoría	2011	2012
Acceso al conocimiento	10,60%	9,73%
Absorción y difusión del conocimiento	25,27%	22,35%
Creación del conocimiento	21,18%	15,59%
Explotación del conocimiento	14,09%	16,71%

Elaboración propia, 2015.

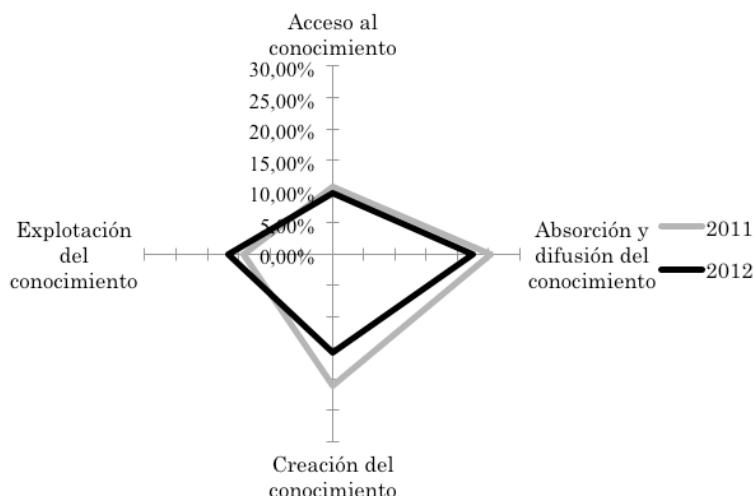


Figura 2. Medición de la innovación para Colombia

Elaboración propia, 2015.

Las variables de menor aporte dentro de la categoría absorción y difusión del conocimiento fueron gasto público en educación y tasa de alfabetización. Esto también lo afirmó la OCDE en los estudios económicos que realizó para Colombia en el 2013, donde recomienda un aumento de la eficiencia del gasto en educación y formación, dado que en el país los resultados generales en educación siguen siendo deficientes y que el fracaso educativo acarrea altos costos para la sociedad, limitando la capacidad del crecimiento y de la innovación (OCDE, 2013).

La categoría creación del conocimiento obtuvo el segundo lugar, aunque también con disminución para el año 2012. En esta categoría resaltó la variable

artículos en publicaciones científicas y técnicas por ser la más rezagada en los años 2011 y 2012. De acuerdo con la OCDE, Colombia se encuentra por debajo del promedio de los países de la OCDE en este tema y al igual que la producción científica de la mayoría de los países latinoamericanos, la del país se cita con menor frecuencia (OCDE, 2014).

El acceso al conocimiento no impulsa el esfuerzo de innovación en el país porque es la categoría de más bajo nivel y además. Para la OCDE (2014) la principal causa de este problema radica en que la adopción y el uso de Internet y TIC por parte de las empresas es mucho menor que en los países miembros de la OCDE. Adicionalmente, existe una gran brecha entre el uso de las TIC por parte de grandes empresas y empresas pequeñas, así como en el uso de Internet por grupos de alto y bajo nivel de ingresos.

Por último, la explotación del conocimiento mejora para Colombia para el 2012, nivel alcanzado principalmente por la exportación de productos de alta tecnología. En contraste, la exportación de TIC es la variable de menor aporte a la categoría. De esta forma, el modelo de medición de la innovación concuerda con la investigación de Shelton (2013) en que las exportaciones de alta tecnología son impulsadas por el gasto de I+D, investigadores en I+D, e IED. Estas variables fueron las de mayor magnitud dentro de la categoría absorción y difusión del conocimiento (IED) y creación del conocimiento (gasto en I+D e investigadores en I+D).

Conclusiones

Los modelos actuales de medición de innovación están basados en apreciaciones subjetivas de teóricos que los construyen, además, el uso de datos recopilados por encuestas generan imprecisiones, ya que no existe un método estándar para realizarlas, sobre todo, cuando se trata de medición de indicadores de innovación. Es importante que los índices compuestos para medir innovación sean objetivos, ya que de estos se derivan decisiones a nivel nacional con el objetivo de alcanzar el desarrollo económico superior.

Otro aspecto que brinda subjetividad a la medición es la construcción del índice; para ello, se emplean herramientas estadísticas que otorguen información desde los datos mismos, el análisis factorial se convierte en una técnica conveniente para el cálculo de las ponderaciones con las que se agregan los indicadores sintéticos al índice compuesto, utilizando variabilidad de los datos y así, determinar la porción de correlación compartida entre cada una de las variables

que los componen, a su vez reduciéndolas a un número pequeño de factores haciendo el modelo más simple.

El índice construido muestra la proximidad a la realidad, debido a que los resultados arrojados muestran las fortalezas y debilidades asociadas a la innovación del país estudiado; dando cuenta, de la falencia que tienen el país de estudio en aspectos como la explotación y acceso del conocimiento. Siendo ésta uno de los criterios importantes para el desarrollo de la competitividad de las naciones, Colombia debe enfocar sus esfuerzos a la mejora de las variables que integran, entre ellas, gasto público en educación y en las TIC (Internet, telefonía fija y celular, utilizadas en la investigación). Estas recomendaciones también son emitidas por la OCDE en concordancia con las falencias encontradas y con el objetivo de mejorar los niveles de crecimiento de la región.

Las recomendaciones y políticas propuestas para la mejora de la innovación en Colombia dependen de aquellas categorías donde los resultados no fueron satisfactorios. La OCDE realiza algunas de estas recomendaciones en el informe económico del 2013 y en los estudios de la OCDE de las políticas de innovación para Colombia, donde indica las debilidades donde debe centrarse el gobierno colombiano. Las recomendaciones dadas por la OCDE, y según los resultados del índice de innovación, Colombia deberá estar comprometida en mejorar las TIC porque son el de menor esfuerzo de innovación, tanto en el acceso como en la explotación de conocimiento.

Por último, el alto grado en las exportaciones de alta tecnología concuerda con las altas magnitudes de las variables de gasto en I+D, investigadores dedicados a la I+D y a la IED, consideradas en la literatura impulsadoras de las exportaciones de alta tecnología. Igualmente, la educación, particularmente en la población activa con educación terciaria, es la variable de más aporte a la absorción y difusión del conocimiento, que es constatado con los estudios de la OCDE para el país.

Referencias

- Archibugi, D. & Coco, A. (2004). A new indicator of technological capabilities for developed and developing countries (ArCo). *World Development*, 32(4), 629-654. <http://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.10.008>
- Archibugi, D., Denni, M. & Filippetti, A. (2009). The global innovations coreboard 2008: The dynamics of the innovative. This report was prepared by.

- Buesa, M., Heijs, J. & Baumert, T. (2010). The determinants of regional innovation in Europe: A combined factorial and regression knowledge production function approach. *Research Policy*, 39, 722-735. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2010.02.016>
- Castro, L., Di Serio, L. & De Vasconcellos, M. (2012). Competitiveness of nations: Review of the metric used by the world economic forum. *FÓRUM*, 52(4), 421-434.
- Castro-González, S., Peña-Vinces, J., Ruiz-Torres, A. y Sosa, J. (2014). Estudio intrapaíses de la competitividad global desde el enfoque del doble diamante para Puerto Rico, Costa Rica y Singapur. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 20(3), 122-130. <http://doi.org/10.1016/j.iiedee.2013.09.001>
- De la Fuente, S. (2011). Análisis Factorial. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- European Commission. (n.d.). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Paris, France: OECD.
- Feinson, S. (2003). National Innovation Systems Overview and Country Cases. *Knowledge Flows and Knowledge Collectives: Understanding The Role of Science and Technology Policies in Development*, 13-38.
- Grupp, H. & Schubert, T. (2010). Review and new evidence on composite innovation indicators for evaluating national performance. *Research Policy*, 39(1), 67-78. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2009.10.002>
- Guan, J., Yam, R., Mok, C. & Ma, N. (2006). A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on DEA models. *European Journal of Operational Research*, 170(3), 971-986. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.054>
- Lall, S. (2001a). Comparing National Competitive Performance: An Economic Analysis of World Economic Forum's Competitiveness Index. *QEH Working Paper*, 61, 1-41.
- Lall, S. (2001b). Competitiveness indices and developing countries: An economic evaluation of the global competitiveness report. *World Development*, 29(9), 1501-1525. [http://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00051-1](http://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00051-1)
- Lall, S. & Pietrobelli, C. (2005). National Technology Systems in Sub-Saharan Africa Sanjaya Lall. *International Journal Technology and Globalisation*, 1(3/4), 311-342.
- Luisa, E. y Castillo, R. (2004). El sistema nacional de innovación: Un análisis teórico-conceptual *The National System of Innovation: A Theoretical-Conceptual Analysis*, 45(45), 94-117.
- Lundvall, B.-Å. (2010). *National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*. London, England: Anthem Press.

- Mahroum, S. & Al-Saleh, Y. (2013). Towards a functional framework for measuring national innovation efficacy. *Technovation*, 33(10-11), 320-332. <http://doi.org/10.1016/j.technovation.2013.03.013>
- Manrique, J., Robledo, J. y Lema, Á. (2014). Índice de desempeño innovador en los subsectores industriales colombianos. *Investigación y Reflexión*, 22(2), 79-95.
- Muchie, M. & Baskaran, A. (n.d.). *The National Technology System Framework : Sanjay Lall ' s Contribution to Appreciative Theory The Global Network for Economics of Learning, Innovation and Competence Building System The National Technology System Framework: Sanjay Lall' s Contributi.*
- OCDE. (1997). *National Innovation Systems*. París, France. Retrieved from <http://www.oecd.org/dataoecd/35/56/2101733.pdf>
- OCDE. (2013). *Estudios económicos de la OCDE COLOMBIA*.
- OCDE. (2014). *Estudios de la OCDE de las Políticas de Innovación: Colombia*.
- Önsel, Ş., Ülengin, F., Ulusoy, G., Aktaş, E., Kabak, Ö. & Topcu, Y. (2008). A new perspective on the competitiveness of nations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(4), 221-246. <http://doi.org/10.1016/j.seps.2007.11.001>
- Robledo, J. (2013). *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín.
- Shelton, R. (2013). *Scientometric Insight on a Bottom Line of Innovation: High-Technology Exports*.
- UNIDO. (2002). *Industrial Development Report 2002/2003: Competing through Innovation and Learning* (Vol. 12). <http://doi.org/>
- Wagner, C., Brahmakulam, I., Jackson, B., Wong, A. & Yoda, T. (2001). *Science and Technology Collaboration: Building Capacity in Developing Countries ?* (RAND, Ed.) *Distribution*. Pittsburgh. Retrieved from http://192.5.14.43/content/dam/rand/pubs/monograph_reports/2005/MR1357.0.pdf

Para citar este artículo:

Jiménez, L., Acevedo, N. y Rojas, M. (2017). Medición de la innovación en Colombia. *En-Contexto*, 5(6), 165-183.

